

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-52199

(43) 公開日 平成11年(1999) 2月26日

(51) Int.Cl.⁶

識別記号

F I

G 0 2 B 6/42

G 0 2 B 6/42

7/00

7/00

H 0 1 L 31/00

H 0 1 L 31/00

H 0 4 B 10/00

H 0 4 B 9/00

審査請求 未請求 請求項の数11 F D (全 21 頁)

(21) 出願番号

特願平9-225877

(22) 出願日

平成9年(1997) 8月6日

(71) 出願人 000002130

住友電気工業株式会社

大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号

(72) 発明者 工原 美樹

大阪府大阪市此花区島屋一丁目1番3号住

友電気工業株式会社大阪製作所内

(72) 発明者 岩崎 孝

大阪府大阪市此花区島屋一丁目1番3号住

友電気工業株式会社大阪製作所内

(72) 発明者 斎藤 格

大阪府大阪市此花区島屋一丁目1番3号住

友電気工業株式会社大阪製作所内

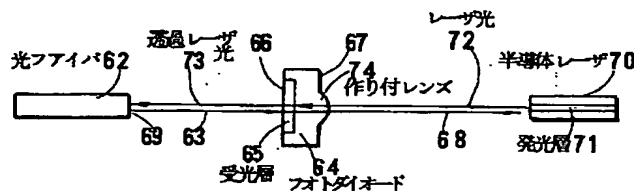
(74) 代理人 弁理士 川瀬 茂樹

(54) 【発明の名称】 光送受信モジュール

(57) 【要約】

【課題】 同一波長の光を用いて時分割し、送信と受信を交互に行うピンポン伝送に用いられる光送受信モジュールは、光路を二分する光分波器、独立のPDモジュール、独立のLDモジュール、3つの光コネクタなど多数の部品が必要であった。部品点数を減らして簡易な構造であって安価で小型の光送受信モジュールを提供する事が目的である。

【解決手段】 表裏面にリング電極を持ち、レンズがあって、入射した光の一部を吸収し光電流に変え、残りの光は透過する半透過性の受光素子を用いる。半透過型レンズ付き受光素子を、伝送媒体と発光素子の間に入れる。伝送媒体+レンズ付き半透過型受光素子+発光素子という線形の光送受信モジュールである。伝送媒体からの受信光は半分が受光素子によって検出される。発光素子の光は半分が受光素子を透過しレンズによって収束して伝送媒体に高効率で入射する。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 一つの波長 λ の光を送受信に用い時間を分割して送信と受信を交互に行うようにした光送受信モジュールであって、外部から信号光を伝送し或いは外部へ信号光を伝送する光ファイバ或いは光導波路からなる伝送媒体と、伝送媒体の軸線上に設置され表裏面に電極を有し作り付けレンズを持ち薄い受光層を持ち入射した波長 λ の光の一部を吸収し残りを透過する受光素子と、受光素子の後方において前記伝送媒体の軸線上に設置され波長 λ の光を発生させる発光素子とよりなり、発光素子の送信光は受光素子へ入り一部が吸収され残りの光が受光素子を通り抜け作り付けレンズによって集光され伝送媒体に入射するようにしたことを特徴とする光送受信モジュール。

【請求項 2】 光ファイバとレンズ付き受光素子と発光素子とよりなることを特徴とする請求項 1 に記載の光送受信モジュール。

【請求項 3】 光導波路とレンズ付き受光素子と発光素子とよりなることを特徴とする請求項 1 に記載の光送受信モジュール。

【請求項 4】 発光素子の後方にモニタ用受光素子を配置したことを特徴とする請求項 1 ～ 3 のいずれかに記載の光送受信モジュール。

【請求項 5】 発光素子が InGaAsP よりなる $1.3 \mu\text{m}$ 若しくは $1.55 \mu\text{m}$ 帯の半導体レーザであり、レンズ付き受光素子が InGaAs 或いは InGaAsP 系よりなる PIN フォトダイオードであることを特徴とする請求項 1 ～ 4 のいずれかに記載の光送受信モジュール。

【請求項 6】 InGaAs ($\lambda_g = 1.67 \mu\text{m}$) の受光層の厚みが約 $0.7 \mu\text{m}$ であることを特徴とする請求項 5 に記載の光送受信モジュール。

【請求項 7】 InGaAsP ($\lambda_g = 1.4 \mu\text{m}$) の受光層の厚みが約 $1.0 \mu\text{m}$ であることを特徴とする請求項 5 に記載の光送受信モジュール。

【請求項 8】 光ファイバと、受光素子、発光素子との結合系が光ファイバをこれらの光学素子に対して固定するピグテイル型によることを特徴とする請求項 1 ～ 7 のいずれかに記載の光送受信モジュール。

【請求項 9】 光ファイバと、受光素子、発光素子との結合系が光ファイバをこれら素子に対して着脱できるレセプタクル型によることを特徴とする請求項 1 ～ 7 のいずれかに記載の光送受信モジュール。

【請求項 10】 送信時に受信用受光素子を発光素子光量のモニタに利用することによって、受信用受光素子がモニタ用受光素子を兼ねるようにしたことを特徴とする請求項 1 ～ 3 及び請求項 5 ～ 9 のいずれかに記載の光送受信モジュール。

【請求項 11】 受信用フォトダイオードの電気信号を増幅する増幅器を受信用受光素子と同じパッケージに収

容することを特徴とする請求項 1 ～ 10 のいずれかに記載の光送受信モジュール。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 この発明は光双方向通信に用いられる光送受信モジュールの改良に関する。特に光伝送路、受光素子、レンズ、発光素子を有し送信と受信とが排他的になされるようにしたピンポン伝送型の光送受信モジュールに関する。つまり信号伝送は双方向であるが、送信と受信が同時にはなされず、相補的に行われるような伝送形式を対象とする。

【0002】

【従来の技術】 光ファイバの伝送損失が低下し、また半導体レーザ（以下 LD と略す）や半導体受光素子（以下 PD と略す）の特性が向上したことによって、光、特に波長 $1.3 \mu\text{m}$ や $1.55 \mu\text{m}$ の長波長帯の光を用いた信号（電話、ファクシミリ、テレビ画像信号など）の通信が盛んになりつつある。これを一般に光通信という。中でも最近では 1 本の光ファイバによって双方向に信号を同時にやり取りするシステムが検討されている。この方式の利点はファイバが 1 本で済むことである。

【0003】 図 1 はこのような方式のうち一波長 (λ) による双方向通信の原理図である。これは局側、加入者側に光分波器 2、4 が必要である。局側では、電話やファクシミリ (FAX) の信号をデジタル信号あるいはアナログ信号とし増幅した後、半導体レーザ LD 1 を駆動し、波長 λ の光の強弱の信号として、光ファイバ 1 に送り込む。光信号は光分波器 2 によって光ファイバ 3 に入り、この中を伝搬し、加入者へと分配される。光ファイバ 3 は加入者である各家庭、オフィス、工場などに張り巡らされている。このように局側から、加入者側に信号が送られる方向を下り系と呼ぶ。

【0004】 加入者側では光分波器 4 によって下り信号を光ファイバ 5 に取り出し受光素子 PD 2 によって受信する。PD 2 は受信した光信号を電気信号に変え、増幅し、信号処理を施し、電話の音声や、FAX 信号として再生する。

【0005】 一方、加入者側は、電話やファクシミリの画像信号を局側に向けて送信する。波長 λ の光を出す半導体レーザ LD 2 を電話信号や画像信号によって変調し、光ファイバ 6、光分波器 4、光ファイバ 3 を通じて局側へ光信号として伝送する。このように加入者側から局側へ信号を送る方向を上り系と呼ぶ。局側は、この光信号を光分波器 2 によって光ファイバ 7 に取り出し、PD 1 によって受信する。これを電気信号に変えて交換機や信号処理回路に送り込む。ここで一波長では、上り、下りの信号伝送を同時にできない。そこで上り下りの信号を異なる時刻に交互に伝送する。これをピンポン伝送という。

【0006】 このように、1 本の光ファイバを使って、

10

20

30

40

50

ひとつの波長の光を用いて、双方向通信を行うには、局側、加入者側のどちらにも光路を分離する機能素子が必要である。図 1 では光分波器 2、4 がその役割を果たす。光分波器は、波長 λ の光を 1 本の光ファイバにまとめて導入することができる。反対に 1 本の光ファイバを伝搬する波長 λ の光を異なる 2 本の光ファイバに分配することもできる。1 本の光ファイバを使う双方向通信には、光分波器が不可欠である。

【0007】光分波器として、いくつかの種類のもが提案されている。2 本の光ファイバを用いたもの、光導波路を用いたもの、多層膜ミラーを用いたものなどがある。図 2 に示すものは、光ファイバまたは光導波路型のものである。2 本の光の導波部分を接近させてエバネッセント結合させ、エネルギーの交換を可能にする。結合部の距離 D と長さ L を適当に選ぶことによって、光の分波・合波機能を賦与することができる。図 2 では光ファイバ 8 に入れた光が、光ファイバ 11 に P 3 となって出てくる。但し約半分の光はファイバ 12 の方へ移り利用されない光となる。逆にファイバ 11 から光 P 4 を入れると、これが約半分の光量になりファイバ 8 と 9 から出て行く。

【0008】このような光分波器は局側の光分波器にも、加入者側の光分波器にも同様に利用することができる。図 3 の光分波器は、二等辺三角柱ガラスブロックの対角面に誘電体多層膜を蒸着し、もう一つ同等のガラスブロックを張り付けて正四角柱にしたものである。誘電体多層膜が干渉フィルタになり、張り合わせ面に対して 45 度の角度をなす光が入射すると、約半分の光が反射し、残りの光は透過するようになっている。このような光分波機能は誘電体膜の厚み、屈折率を適当に選ぶ事によって実現される。その他にもいくつかの光分波器が提案されている。

【0009】このように光をある強度比（例えば 1 : 1）に異なる経路に分けてしまう素子は、光分波器、分波・合波器と呼ばれる。光ファイバやガラスブロックを用いたものは既に市販されている。以上の素子の機能について強調すべき事は何れにおいても半分の光量が無駄に失われるという事である。これは一波長であること及び光の可逆性よりやむを得ない事である。

【0010】図 4 は従来例に係る加入者側の光送受信モジュールの構成例を示す概略図である。局側につながる光ファイバ 16 の終端は光コネクタ 17 によって屋外の光ファイバ 18 に接続される。これを光ファイバ型の光分波器 21 によって上り光と下り光とに分離する。既に述べたように二つの光ファイバの近接部 20 の近接距離長さによって 1 : 1 に光を分ける機能を与える事ができる。光ファイバ 18 に半導体レーザ（LD）の上りの光を入れ、光ファイバ 19 の側より下りの光を取り出し、フォトダイオード（PD）で受信するようにしている。

【0011】光ファイバ 18 は光コネクタ 22 によって

LD モジュール 25 に接続される。LD モジュールは加入者側からのデジタル信号を電気光変換して局に向けて送信するためのものである。光ファイバ 19 は光コネクタ 23 によって PD モジュール 27 に接続される。これは局側からの光信号を電気信号に変換し、加入者側で受信するためのものである。その他ビームスプリッタと呼ばれる光分波器を用いた例もある。例えば E P 4 6 3 2 1 4 - B 1 などに記載される。

【0012】図 5 は従来例に係る半導体発光素子モジュール 28 の断面図である。半導体レーザチップ 29 とこれの出力をモニタする為のフォトダイオード 30 を備える。半導体レーザ 29 はサブマウントを介してヘッダ 32 のポール 31 に取り付けられる。ヘッダ 32 の上面には、フォトダイオード 30 が固定される。ヘッダ 32 の底部にはリードピン 33 が複数本設けられる。通し穴 35 を有する円筒形のキャップ 34 が半導体レーザ 29、フォトダイオード 30 を囲むように、ヘッダ 32 に溶接される。ワイヤによってリードピンとチップ 29、30 の電極が外部回路と接続されるようになっている。

【0013】ヘッダの上にはさらに円筒形のレンズホルダー 36 がある。レンズホルダー 36 は中央の穴に集光レンズ 37 を有する。レンズホルダー 36 の上にはさらに円錐形のハウジング 38 が溶接される。ハウジング 38 にはフェルール 39 とフェルールによって先端が固定された光ファイバ 40 が取り付けられる。半導体レーザ 29、レンズ、光ファイバなどを調芯して、レンズホルダー 36、ハウジング 38 をそれぞれ固着する。レンズは集光性を高めてレーザと光ファイバの結合率を高める。モニタ用フォトダイオードによって半導体レーザの後方から出る光をモニタして、フィードバック回路によって駆動電流を制御する。これによって温度変動があっても半導体レーザの出力を一定に保つことができる。

【0014】本発明は、半導体レーザの構造だけでなく、フォトダイオードの構造にも関する。それ故、従来例に係る受光素子モジュールについても説明する。図 6 は従来例に係る受光素子モジュールの断面図である。PD チップ 41 が円盤状のヘッダ 42 の上に固着されている。ヘッダ 42 は複数のリードピン 43 を有する。レンズホルダー 46 が集光レンズ 47 を保持している。ハウジング 48 がレンズホルダー 46 の上部に溶接してある。ハウジング 48 には光ファイバ 50 の先端を固定したフェルール 49 が差し込まれている。

【0015】光ファイバ 50 の先端は斜めに切断してある。光ファイバ 50 から出た光はレンズによって集光されて受光素子 41 に入射する。受光素子（PD）としては、1.3 μ m 光や 1.55 μ m 光を受光するには、InP を基板として、InGaAs を受光層とした PD が良く用いられる。先にも述べたように、本発明は受光素子の構造に関係するところも多いので従来の受光素子の構造についてさらに詳しく述べる。

【0016】図7は従来例に係る半導体受光素子チップの断面図である。n-InP基板52の上に、n-InPバッファ層53、n-InGaAs受光層54、n-InP窓層55がエピタキシャル成長している。n-InP窓層55、InGaAs受光層54の中央部は亜鉛拡散領域56になっている。このp-型領域の上にリング状のp電極57が作製されている。またn-InP基板52の上にn電極61が形成される。p電極57によって囲まれる領域には反射防止膜58が被覆してある。またp電極57の外側はパッシベーション膜59によって保護されている。反射防止膜58のあるInP窓層の側より信号光が入射し、InGaAs光吸収層で吸収され電気信号に変換される。

【0017】図8はこのような受光素子の感度特性を示すグラフである。横軸は波長(μm)であって、縦軸は感度(A/W)である。感度グラフは立ち上がり部P、平坦部Q、立ち下がり部Rを含む。高い感度を示す波長範囲はこの例では、 $1.0\mu\text{m}\sim 1.6\mu\text{m}$ に渡っている。高感度範囲は光吸収層の材料で決まる。この場合は、InGaAs受光層54の材料特性によって決まる。このように広い感度特性を持つフォトダイオードが従来の受光素子モジュールに使われてきた。光ファイバから出た光はほぼ円形に広がる。このため円形の受光面を持つ受光素子が使われる。

【0018】

【発明が解決しようとする課題】従来の光分波器、半導体発光素子、受光素子を組み合わせた光送受信モジュールは図4で示したように3つの主要部品からなっている。3つの部品を持つので、大型になるし、価格も高くなる。また分波器や、光ファイバの結合部分などで光の損失が出るので長距離通信には使い難いという難点があった。そのために一般家庭への光送受信モジュールの普及が困難であるという問題があった。

【0019】光分波器を用いない双方向通信用モジュールはいくつか提案されている。

①特公平7-58806号：これはマルチモード光ファイバ+面発光LED+受光素子というふうにLED、PDの順に並べている。PDの上に直接にLEDを接着している。

②特開昭57-172783号：これもマルチモード光ファイバに近い方から面発光LED、PDと並べている。PDの一部に小さいLEDを作製したものである。パッケージに収容している。

【0020】いずれもマルチモード光ファイバであり口径が広い。出てくる光の直径は大きく $100\mu\text{m}$ 程度もある。これがN.A.(開口数)にしたがって広がるから断面積の広いビームとなる。②の場合小さいレーザをPDの中央部に設けても、殆どの光はレーザ以外の部分を通り受光素子にまで到達する。ビームが広く(直径が $200\mu\text{m}\sim 300\mu\text{m}$)、レーザチップは小さいので

影以外の場所に多くの光が到達し、これが広い受光面をもつ受光素子に入射するという思想である。①ではレーザによって受信光が吸収されないようにしている。マルチモード光ファイバで広い多モード光を伝搬させているから、これは本発明が目的としている光通信には用いる事ができない。

【0021】光通信に用いられる光ファイバはコア径が $10\mu\text{m}$ のシングルモードファイバである。マルチモードファイバは多くの情報を歪ませることなく遠くまで伝送できないから不適である。コア径が小さいので結合が難しく、レーザはファイバのコア端面間近に位置合わせして固定しなければならない。レーザチップは数百 μm の厚みと、数百 μm の幅を持つから、シングルモードファイバの前に置くと殆どの光を遮ってしまう。その後ろにフォトダイオードを置いてもフォトダイオードには光が到達しない。①、②のような構造はシングルモードファイバを使う加入者系光通信には使えない。

【0022】シングルモードファイバに結合でき部品点数がより少なく、小型で低価額な光送受信モジュールを提供することが本発明の第1の目的である。光の損失の少ない光送受信モジュールを提供することが本発明の第2の目的である。光加入者系の実用化に大きく寄与することのできる光送受信モジュールを提供することが本発明の第3の目的である。調芯箇所が少なくして組立コストを節減できる光送受信モジュールを提供する事が本発明の第4の目的である。

【0023】

【課題を解決するための手段】本発明の光送受信モジュールは、一本の光伝送路によって送受信を行う光送受信モジュールにおいて、光伝送路に近い側から見て、レンズ付き受光素子と発光素子があり、光伝送路から出射された受信光をレンズ付き受光素子が受光し出射光の一部を吸収して電気信号に変換し、発光素子から出た送信用の光は受光素子に入り受光素子によって一部が吸収され、残りが作り作り付レンズによって集光されて光伝送路に入射させるようにしたものである。作り付レンズを除いては本発明者の先願である特願平8-104405号「光送受信モジュール」と共通するところが多い。

【0024】レンズ付きで信号光が一部透過するような特別な受光素子と発光素子を一直線状に並べたのが本発明の光送受信モジュールである。分岐が存在しない。受信光と送信光が分岐によって空間的に分離されない。受信光と送信光は同じ直線上を伝搬する。分岐が不要で送受信光を分離しない。本発明はまず受光素子(フォトダイオード)に著しい特徴がある。一部透過一部吸収性のフォトダイオードを使うのである。一部透過型であるからその直後に直列に発光素子を設ける事ができる。さらに受光素子にはモノリシック(作り付)レンズを形成しておいてレンズによって発光素子の光を集光して光伝送路(光ファイバ、光導波路)に入れる。受光素子が部分

透過性でレンズ付き、受光素子、発光素子を直列接続した、という事が本発明の特徴である。受光素子は一部吸収、一部透過という極めて特異な性質を持つ。吸収：透過の比率が幾らであっても良い。これは目的や発光素子、受光素子の能力に応じて自在に決めれば良い事である。しかし簡単のため以後、吸収と透過が半分ずつとして本発明の実施例を説明する。

【0025】フォトダイオードは前面入射型（図7のようなもの）と背面入射型（基板側から入射する）がある。従来のフォトダイオードはいずれにしても反対側は電極によって遮蔽され光は漏れないようになっている。光は全て受光素子によって吸収されるということが出来る。本発明で用いる受光素子はそうではなくて、透過型、それも半透過型の受光素子を利用する。半透過型の受光素子（フォトダイオード）そのものが新規である。本発明はそれにとどまらず、そのような受光素子の直後に発光素子を設けて光送受信モジュールとする。受光素子と発光素子を直線配置した極めて斬新なものである。加えてフォトダイオードには集光用レンズを設け発光素子の光を収束させて光伝送路に入射する。受光素子自らのためでなく発光素子の為のレンズを受光素子に作り付けにしている。

【0026】

【発明の実施の形態】なぜ従来の光送受信モジュールが大きく、高価になるのか？本発明者はその原因について様々に考えた。従来の光送受信モジュールは光分波器を使っている。光分波器はどうして必要なのか？一本の光ファイバで双方向通信を実現するためには光を行きと帰りに分けなければならない。そのために従来の光送受信モジュールでは光分波器が必須であった。

【0027】ところで図1、図2の光ファイバカップラにおいても、図3の多層膜ミラーでも、必ず光強度は半分若しくは設計した分岐比になる。レーザから光ファイバに入る光の量の比と、光ファイバから出て受光素子に入る量の比は相補的である。つまりレーザの結合効率Tを上げるとフォトダイオードの受光効率Rが下がる。分岐を使うのでその幾何学的な制約から最良の場合でも $T + R = 1$ である。無損失であってもこのようなサムルールがある。例えば $T = 0.5$ 、 $R = 0.5$ である。これは一波長を使う系である限り不可避の難点である。

【0028】ここでは簡単のために1：1の分岐になる場合について話を進める。さらに何ゆえに光ファイバ光分波器、ミラー光分波器を使うのかというと、発光素子と受光素子の光路をはっきりと区別したいからである。図1～図3の光分波器を使えば確かに光路は明確に二分される。流れの方向が異なる光なのであるから光路を二分するのは当然のように思える。

【0029】常識には誤りがある。先入観にとらわれてはならない。本当にわざわざ分岐を使ってまで光路を二分する必要があるのであろうか？同時的に送受信するな

らそれが必要であるかも知れない。しかしここではピンポン伝送に限定する。ピンポン伝送であれば送受信の時刻が相違する。送信時にはレーザが光り、受信時にはフォトダイオードだけが動作すれば良い。

【0030】本発明者は光路を分岐することはピンポン伝送の場合必須ではないという事に気づいた。1本の光路の上にフォトダイオードとレーザダイオードを直列に置いても、フォトダイオードがいくらかの光を透過するものであればレーザの光は光ファイバに到達するはずである。このような着想に基づいて本発明がなされた。つまり本発明は、光伝送路、半透過性受光素子、発光素子を直列に一本の光路上に設置したものである。従来のモジュールと違うところは、非分岐直線型、受光素子半透過型というところにある。

【0031】図9は本発明の原理図を示す。光ファイバ62、フォトダイオード64、レーザダイオード70が同一光路上に直列に配置されている。フォトダイオード64は表面66に受光層65を有し裏面67に作り付レンズ74を持つ。これは受光素子の基板側をエッチングによって半球状に形成してレンズとしたものである。受光層（吸収層）が薄くて入射光が半分抜けていくような半透過型フォトダイオードである。その後方にレーザダイオード70が置かれている。光ファイバの光路の上にフォトダイオードの受光層65、半導体レーザ70の発光層71が並んでいる。半導体レーザ70からの送信光は作り付けレンズによって集光され効率よく光ファイバのコアに入射する。半導体レーザや発光ダイオードの光は発散するのでレンズがないとシングルモード光ファイバには入らない。本発明では、受光素子に作り付レンズを設けているので別部材のレンズが不要になる。これはもちろん概念図であり実際には更に具体的な工夫がなされる。光ファイバの端面69を斜めカットし、さらにチップはパッケージに収容される。

【0032】まず受信光について説明する。光ファイバ62の中を伝搬してきた局側からの光は光ファイバ62の端面から出て、そのN.A.（開口数）によって決まる角度に広がった光63になる。これが直前にあるフォトダイオード64の受光層65に入る。ここで約半分の光が吸収される。吸収された光は電気信号に変わる。残りの約半分の光は透過する。透過した受信光68は半導体レーザ70に入るが、ピンポン伝送であり受信時刻と送信時刻が異なるので問題はない。光ファイバから光が出ているときは半導体レーザは発光していないのである。

【0033】次に送信光であるが、これは半導体レーザ70の発光層71から出る。フォトダイオード64の裏面67から入り受光層65で約半分吸収される。これは損失である。残りの約半分のパワーの光は表面66から空間に出る。透過してきたレーザ光73は作り付レンズ74によって収束し光ファイバ62の中に入射する。この

ように受信光の約半分が受信され、送信光の約半分が光ファイバの中へ入ることができる。いずれも約半分は損失となる。

【0034】本発明の基本的な思想は、光は直進するという基本的な物理現象を素直に利用している。さらにフォトダイオードとは全ての光を吸収し、できるだけ100%に近い感度を得るものが良いという従来の発想に覆し、本発明は入射光の半分だけを吸収し光電気変換し、残りの半分は透過させ一体化レンズを持つという全く新規なフォトダイオードを使っている。従来の双方向モジュールは受光素子発光素子の光路を別異にしなければならないという牢固な先入観に捕らわれていたので無理に光路を曲げ光分波器を使っていた。分岐がないので本発明は光分波器は要らない。作り付レンズがあるので別部材のレンズが不要である。

【0035】本発明はこのように半透過型フォトダイオード+レーザを光ファイバの軸線上に並べるので、次の様な効果がある。一つは光カップラ（光分波器）が不要だということである。もう一つは全ての部品を一つのパッケージに収容できるからモジュールを小型化できるという効果がある。レンズが受光素子に一体化され調芯の手数が不要である。さらに部品点数が少ないので安価なモジュールになる。光通信を広く普及させるには安価であることが最も重要であるが本発明はそのような要請に合致する。

【0036】ここで作り付レンズ（モノリシックレンズ）の作製方法について説明する。レンズを受光素子に作り付けにするというものは既にいくつか提案されている。しかしいずれもコスト削減のため受光素子へ集光させるための独立の球レンズを省き受光素子に作り付けにしたものに過ぎない。これらは例外なく、作り付レンズで集光し受光素子の受光感度を高めるものであった。当然に焦点距離は極めて短く曲率が大きい（曲率半径が小さい）ものであった。高低の差が著しく強く湾曲した曲面が要求された。

【0037】本発明で受光素子に作り付けにするレンズはそんなものではない。このレンズは後方に隔離して存在するレーザからの送信光を収束して前方にあるファイバに結合するようにしたものである。レンズによる光ファイバ端面の像は、受光素子の受光層ではなくてレーザ端面にできる。より曲率が小さく曲率半径が大きい。高低の差は小さい。受光素子はレーザ光を半分透過するように設計されているから、受光素子はレーザに対してレンズとして機能しているのである。本発明と基本的なコンセプトが違うのであるが、受光素子作り付レンズの従来例について初めに述べる。

【0038】③ M. MAKIUCHI, O. WADA, T. KUMAI, H. HAMAGUCHI, O. AOKI, Y. OIKAWA, "SMALL-JUNCTION-AREA GaInAs/InP pin PHOTODIODE WITH MONOLITHIC MICROLENS", ELECTRONICS LETTERS, vol. 24, No. 2, p109(1988)

【0039】これはInGaAsを受光層とするInP系フォトダイオードのInP基板底面に球面の一部をなすレンズを作製したものである。チップの寸法は $200\mu\text{m} \times 200\mu\text{m}$ である。球面レンズの曲率半径は $55\mu\text{m}$ である。レンズ開口は $50\mu\text{m}$ である。曲面の中心角は大きくて $2 \tan^{-1}(25/55) = 50^\circ$ にもなる。片凸レンズの焦点距離は $R/(n-1)$ であるので、この場合 $20 \sim 40\mu\text{m}$ の程度で極めて短い。

【0040】フォトレジストを基板底面に（一様厚みでなく）レンズ状に塗布して底面をエッチングする。フォトレジストのない部分は一様にエッチングされてゆく。このエッチングはフォトレジストをもエッチングする能力がある。フォトレジストが凸レンズ状であるからフォトレジストの周辺近くはより深く、中央部はより浅くエッチングされる。結果として凸レンズ状の隆起が生成される。このレンズは光を収束させて受光層に集中させるものである。集光された光は全てフォトダイオードの受光層で吸収される。

【0041】受光素子チップに作り付レンズを設けるという点では同じであるが、本発明とこれらの従来例とはフォトダイオードの機能、レンズ集光の目的が異なる。両者を劇然と区別する必要がある。

【0042】図17は従来例にかかる作り付球面レンズを持つ受光素子に光ファイバからの光線が入射する場合の光線束を表す。光ファイバの端点Gからビームが出る。ビームは円錐形に広がりながら進む。軸線をGTとする。球面レンズbと受光面（受光層）Qが示されている。受光面Qはファイバと反対側にある。受光面の上に全面を覆うp電極がある。レンズをファイバ側にしなくてはいけないので背面入射型のフォトダイオードとなっている。光ファイバに近い方が基板でありリング状のn電極が形成される。基板に形成したレンズの曲面はNLbJHである。GH, GNが光ファイバの開口角（ $\sin^{-1}(n_2/n_1)$ ）一杯の広がり（ n_2/n_1 ）に該当する。開口角はクラッド、コアの屈折率 n_2 、 n_1 によって決まる。ここでは $\theta = 5.7^\circ$ である。開口角の半分の角度 2.9° の広がりを持つビームをGJ, GLによって示す。

【0043】この素子は基板側に球面の一部を持つレンズを作り付けている（基板をエッチングして）からGN～GH内の全ての光線が集光され受光面に入り全部吸収される。レンズによって全部の光が入るので受光感度が増進される。この例でレンズの曲率半径は $100\mu\text{m}$ である。受光素子と光ファイバの距離は $500\mu\text{m}$ である。このように受光素子の受光層に集光させるためのレンズを受光素子に作り付けたものは既に提案されている。図17の従来例が、図9、図11などの本発明とは目的、機能を別異にしていることが明瞭に看取できよう。

【0044】次に作り付レンズをどのようにして受光素子に作るのかを述べる。図18(a)のようにInP基

80板の裏面にレジスト82を半球状に形成する。そしてアルゴンイオンビーム83を照射してInP基板80とレジスト82をイオンエッチングする。初めレジスト82によって覆われた部分86はそのまま残る。覆われない裏面部分81が一様にエッチングされてゆく。

【0045】しかしエッチングはレジスト82をも削って行くので図18(b)のようになる。薄くレジストで覆われた部分も次第にレジストによる保護を失い次第に露呈してくる。レジスト厚みが勾配をもつので、この部分は傾斜面87となる。レジスト82が全て削られた時、図18(c)のように半球状の隆起ができる。これが作り付レンズ74である。これが図14、図16のレンズ74に当たる。

【0046】

【実施例】

【実施例①(図9:作り付レンズがLDを向いている)】図9の実施例は、光ファイバ62の軸線上に、レンズ付きフォトダイオード(PD)64、半導体レーザ(LD)70を直列に並べている。フォトダイオード64は基板の上に薄い活性層(吸収層)やその他のエピタキシャル成長層を設けたものであるが、活性層が薄いので約半分の光が吸収されるだけで残りはそのまま透過する。活性層がInGaAs($\lambda_g=1.67\mu m$)の場合は活性層厚みを $0.7\mu m$ とすると丁度半分の光が吸収され半分が透過する。 $\alpha=1\mu m^{-1}$ だからである。活性層がInGaAsP($\lambda_g=1.4\mu m$)の場合は、活性層厚みを $1\mu m$ とすると半分透過、半分吸収ということになる。 $\alpha=0.7\mu m^{-1}$ だからである。大体 $0.5=\exp(-0.7)$ であるから、 $0.7/\alpha$ が吸収:透過=1:1の活性層厚みを与える。

【0047】レーザの光は大きく広がるのにシングルモードファイバ62の口径は $10\mu m$ しかないので、そのままではレーザ光がファイバに入らない。そこで受光素子に作り付けたレンズ74によってレーザの像がファイバ端面に結ぶようにする。受光素子のモノリシックレンズ74によってレーザと光ファイバの結合効率を上げることができる。受光素子自体に入射する光量を増加させるのではなく、発光素子の光が光ファイバに入りやすいように受光素子にレンズを作り付にする。そのようなものは類例を見ない。

【0048】図11によって作り付レンズ74の収束作用を示す。これは半導体レーザの光を収束させて光ファイバ端面に入れるものである。半導体レーザ・光ファイバの結合効率を高めるものである。受光素子へ入る受信光を収束させるのが目的でない。つまりレーザから見れば受光素子は単にレンズに過ぎない。レーザは $300\mu m \times 300\mu m \times 100\mu m$ であるとする。シングルモード光ファイバから出射される光は 5.7° の広がり角で広がる。一方レーザから出た光は 15° の広がり角(半分で)をもつ。レンズはレーザの 15° の広がり角

ームを屈折させ集光しファイバへ 5.7° で入射させるという条件を課して曲率半径を計算した。 $1.3\mu m$ 光に対するInPの屈折率は3.5である。

【0049】同じ例で、受光素子の厚みは $100\mu m$ 、受光層の直径(受光径)は $80\mu m$ である。作り付レンズの例えば曲率半径は $100\mu m$ である。受光素子と光ファイバの距離は $140\mu m$ 、レンズ部とレーザの間隔は $50\mu m$ とした。この構成で、感度 $0.45A/W$ 、光ファイバへの結合パワー $1mW$ (電流 $30mA$)を得た。

【0050】これは単に一例である。図11の(b)によってパラメータの関係をさらに明瞭にしよう。光ファイバ端面中心F、受光素子平坦面中心G、受光素子レンズ中心H、レーザ端面中心Kは同一光軸線FK上に並んでいる。レンズの曲面は光軸上の点Jに中心を持ち曲率半径がRであるとする。受光素子(レンズ)の厚みをLとする。レンズ屈折率をnとする。レーザ端面Kとレンズ中心Hの距離をAとする。平坦面中心Gと光ファイバ中心Fの距離をBとする。単純な薄肉レンズの場合は、 $A^{-1}+B^{-1}=f^{-1}$ を満たす焦点距離fが決まる。しかしこのように厚肉レンズの場合はそれほど単純でない。単純でないが、距離A、Bについて、近軸光の場合は一義的な関係があるはずである。ここで行うのは厚肉片平片凸レンズの公式を求めようというものである。

【0051】[作り付レンズの公式] レーザKから光軸と角度 Ψ をなすように出た光がレンズ面の点Tでレンズに入ったとしよう。 $HT=s$ とする。 $\angle TJH=\theta$ とする。つまり軸線より θ の角度をなすT点に入射している。T点はHよりsだけ離れている。ここで半径JTと角度 β をなすように屈折して受光素子中を進行し、平坦面のW点に至ったとする。 $WG=t$ とする。Wから光ファイバ中心Fに向かいFに無事入射できたとする。光ファイバへの入射角は ϕ とする。 Ψ 、 ϕ 、 θ などは十分に小さい値であるとして線形近似する。もちろん線形近似しなくても計算はできるが複雑になる。ここでは説明の便宜のために線形にするのである。これらパラメータの間に次の6つの方程式が成り立つ。

$$【0052】 s = A\Psi = \theta R \quad (1)$$

$$n\beta = \Psi + \theta \quad (2)$$

$$s = t + L(\theta - \beta) \quad (3)$$

$$t = \phi B \quad (4)$$

$$\phi = n(\theta - \beta) \quad (5)$$

【0053】(1)は二つの式を含む。これはHTの長さsがKから見るとA Ψ であるし、Jから見るとR θ である事をのべている。(2)はT点でのスネルの法則である。屈折の基線JTに関して、入射角度は $\theta + \Psi$ になるし、屈折角が β であるからこのようになる。sin関数は線形化してある。(3)はレンズLでの光線の曲がりによる入射点Tのズレs、出射点Wのズレtの違いを表現している。

【0054】 レンズの中でのビーム下向き傾きは $(\theta - \beta)$ であるからそれに長さ L を掛けた分だけズレが減る ($s \rightarrow t$) のである。これが厚肉レンズである所以である。(4) は光ファイバから W を見込む角度が ϕ で距離が B なのであるからこの積 $B\phi$ が W のズレ t を与える。

(5) は W 点でのスネルの法則である。スネルの法則以 *

$$R\phi \{n-1 - (R/A)\}^{-1} = \phi B + \phi L/n \quad (6)$$

【0057】 を得る。 ϕ を除いて分母を払い、 ※ ※ 【0058】

$$\{B + (L/n)\} \{n-1 - (R/A)\} = R \quad (7)$$

【0059】 これが本発明のレンズの公式である。 L や R はレンズの配置で決まっているから、レンズとレーザの距離 A を決めると、その像が結ばれる点までの平坦面からの距離 B がわかり、 B に光ファイバをおけばレーザ光が光ファイバに入射する。すこしく複雑な形をしている。 $L \rightarrow 0$ の極限で、 $f = R/(n-1)$ とおいた先述の薄肉レンズの公式になる。

【0060】 (7) 式は、レンズの曲率半径 R や厚み L が決まった時に、レンズ (受光素子) とレーザ間 A 、レンズと光ファイバ間 B をどうすれば良いかということについての指針となる。

【0061】 ところがこれはレンズが既に与えられた時にレーザと光ファイバをどこに置くべきかということをお教えてくれるだけである。レンズをどのように設計すべきかという事については黙して語らない。レンズを最適設計するにはどうすれば良いのか？ これはレーザの特性や、光ファイバの開口角による。

【0062】 つまりレーザが発する光の広がり角と、光ファイバの光の広がり角、これを勘案して最適のレンズを決める事ができるのである。例えばあるシングルモード光ファイバの場合光の広がり角の半分は 5.7° である。またあるレーザでは出射光の広がり角の半分は 15° である。もちろんレーザ光はガウシアンのように裾をひくのであるが大体の広がり角が 30° (半分で 15°) だという事である。

【0063】 そしてレーザ光をどれだけ光ファイバに導入するのか？ という事でレンズの設計の指針が決まる。たとえば欲張ってレーザから出た 15° に含まれる全ての光を光ファイバに入れようとすると、レーザから 15° の角度で出たものが光ファイバに 5.7° で入射するための条件を与えれば良い。

【0064】 これによって、レーザ・レンズ距離 A 、曲率半径 R 、レンズ・光ファイバ距離 B についてのもう一つの式を得る。先ほど、レンズの公式 (A 、 B の関係を決める) を求めたので、これと連立すれば、 A の関数としての R を求める事ができる。この関係は一義的であるからレンズの設計を実行する事ができるのである。

【0065】 [レンズの設計] 先ほどの計算では、 ϕ 、 θ 、 β 、 Ψ などの変数であった。今度はレーザビームの広がり角 Ψ (例えば 15°) と、光ファイバの広がり角 ϕ (例えば 5.7°) を固定し、 Ψ で出たレーザ光が ϕ ★50

* 外に4つの距離に関する条件が課される。

【0055】 角度表現を ϕ でまとめると $\theta - \beta = \phi/n$ 、 $\theta = \phi \{n-1 - (R/A)\}^{-1}$ であるから、(1)、(3)、(4) に代入して、

【0056】

★の角度で光ファイバに入るものとして、前記の式を再び検討する。今度は R がパラメータであるとみなすのである。(3) 式がレンズの基本的な拘束条件を与えている。(1)、(4)、(5) を (3) に代入して、

$$\text{【0066】 } A\Psi = \phi B + L\phi/n \quad (8)$$

【0067】 を得る。ここで ϕ 、 Ψ 、 L 、 n は既知の数である。(8) は A と B の関係を決める。 R 抜きで両者の関係が決まるのはおかしいようであるが、そうでない。裏では R は一定の数に決まっているのである。そういう意味で (8) は中間的な式であるが、これにはそれなりの便利さがある。

【0068】 これは B を決めれば A が決まり、 A が決まれば B が決まるというものであるからである。具体的に試してみよう。光ファイバの広がり角 $\phi = 5.7^\circ = 0.1$ (ラジアン)、 $\Psi = 15^\circ = 0.26$ (ラジアン) で、 $n = 3.5$ であるから、例えば受光素子厚みを $L = 100 \mu\text{m}$ とすると、簡単に

$$\text{【0069】 } 2.6A = B + 28.6 \quad (9)$$

【0070】 となるのである。例えばレーザ・レンズ間 A を $50 \mu\text{m}$ とすると、受光素子・光ファイバ間 B は $B = 101 \mu\text{m}$ となる (ケース①)。もう少し広くして $A = 64 \mu\text{m}$ とすると、 $B = 138 \mu\text{m}$ となる (ケース②)。さらに広くして $A = 90 \mu\text{m}$ とすると、 $B = 205 \mu\text{m}$ になる (ケース③)。

【0071】 こうして A と B が決まるので、これをレンズの公式 (7) に入れると、曲面の曲率半径 R を計算できる。これによってレンズの設計ができたという事になる。それは (8) を (7) に代入する事によって簡単に分かる。

【0072】

40 【数10】

$$R = \frac{\Psi(n-1)A}{(\phi + \Psi)} \quad (10)$$

【0073】 となる。先ほどのパラメータを仮定すると、 $\phi = 0.1$ 、 $\Psi = 0.26$ 、 $n = 3.5$ であるから、

$$\text{【0074】 } R = 1.80A \quad (11)$$

【0075】 となる。先述のケース①～③は、

① $A = 50 \mu\text{m}$ 、 $B = 101 \mu\text{m}$ 、 $R = 90 \mu\text{m}$

② $A = 64 \mu\text{m}$ 、 $B = 138 \mu\text{m}$ 、 $R = 115 \mu\text{m}$

③ $A = 90 \mu\text{m}$ 、 $B = 205 \mu\text{m}$ 、 $R = 162 \mu\text{m}$ である。

【0076】(7)、(8)、(10)式は一般性を持つ。 ϕ や Ψ が幾らであつても成り立つ。 L が任意性をもつが、これは受光素子の厚みであるから受光素子の作り易さなどの条件から決まる。 L が決まると、もはや自由変数はひとつしかない。 A をひとつ決めると、 B 、 R が自動的に決まってしまう。こうしてレンズの最適設計ができる。

【0077】上の例は、レーザの広がり角 Ψ 、光ファイバの広がり角 ϕ を与えて、レーザの殆ど全ての光が光ファイバに（ここでは受光層での50%吸収は問題外として）入るべきであるとして、レンズの設計をしている。しかしレーザの全部の光が光ファイバに入らなくて良いなら、 Ψ の値がより小さくなるので、 A をより広くできる。すると、 R も大きくできるし、 B は反対により小さくできるのである。レーザとは限らず発光ダイオードであつても同様に扱う事が出来る。その場合は Ψ がより大きくなるので、 B がより長く A は短くなろう。またシングルモード光ファイバであるから ϕ が小さいのであるが、これがマルチモードであると ϕ をより広くできるので、 B をより短く、 A を長くできる。パッケージの寸法などを勘案して A を決め、 R と B を決めるようにする。

【0078】【実施例②】(図10：作り付レンズを光ファイバ側に) 図10に示す第2の実施例も、光ファイバ62の軸線上に、レンズ付きフォトダイオード(PD)64、半導体レーザ(LD)70を直列に並べている。レンズ74が光ファイバの方を向き、受光層65がレーザ70の方を向いている。これも半導体レーザの送信光の半分程度が受光素子によって吸収される。受信光の約半分しか受光素子によって感受されない。そのような事情は実施例①と同様である。これはレンズ74が光ファイバ側にあるから受信光は基板を通して受光層に至る。しかし基板はInPであつてバンドギャップが広く、受信光を吸収しない。

【0079】【実施例③】(図12：モニタ用フォトダイオードを追加) このレーザは前方光72だけでなく後ろ方向にも一部の光77を放出できるようなレーザである。レーザ70の後ろの端面76のさらに後方に、モニタ用のフォトダイオード85を設置する。受光面84にレーザの後方光77が入るので、レーザ光の強度を監視することができる。むしろ従来のレーザモジュールは、レーザとモニタPDとが一つのパッケージに納めてあるのが一般的である。であるからそのような既存の装置にレンズ付き半透過型のPDを追加することによって本発明の光送受信モジュールを簡単に作製することができる。

【0080】【実施例④】(図13：レーザに戻り光が入らないように面を傾ける) 光ファイバ62の端面69を斜めに切断し、レーザ光73が端面69によって反射

されると斜め光78となりレーザに戻らないようにしてある。さらに中間のレンズ付きフォトダイオードPD64も傾けて、背面レンズ74での反射光79が斜めの光路を進み、レーザ70に入らないようにしている。戻り光を防ぎレーザの動作不安定化を防止する。光ファイバの斜め切断角は4度～8度の程度である。反射光の傾斜はその2倍になるからレーザには戻らない。

【0081】【実施例⑤】(図14：レンズ付き半透過型フォトダイオードの構造：プレーナ型) 本発明の顕著な特徴の一つはその特異なフォトダイオードにある。通常のフォトダイオードと異なり光を通す。しかも約半分の光を吸収して検出し、約半分の光を透過する。PDの両面ともに電極によって閉じていない。いずれかの面に一体型のレンズを持つ。吸収層(受光層)が薄い。従来の受光素子は受光層が $4 \mu\text{m} \sim 6 \mu\text{m}$ もあるが、本発明の受光層は $0.7 \mu\text{m}$ 程度(InGaAsの場合)～ $1 \mu\text{m}$ (InGaAsPの場合)である。受光層は光の約半分の透過するように決める。

【0082】図14によってフォトダイオードの一例の断面を示す。これは $1.0 \mu\text{m} \sim 1.6 \mu\text{m}$ に感度のあるInGaAsフォトダイオードの例である。図7の従来例のものと違うのは約50%の光が透過できるように工夫されていることである。InP基板90の上に、InPバッファ層91、InGaAs受光層92、InP窓層93がその順にエピタキシャル成長している。InGaAs受光層92は従来の受光層より薄い。

【0083】上面中央部から円形にp型領域94が亜鉛拡散によって形成される。InGaAs受光層92のうちp型領域になった部分とその直下のn型InGaAs層が図9～図13の受光層65に該当する。p型領域94の上面にはリング状のp電極95が設けられる。リング電極95の内側は光が入射するべき領域であり反射防止膜96が形成される。誘電体多層膜であつて信号光 λ を殆ど反射しないで全てがInP窓層に入るようにしている。リング電極95の外側はパッシベーション膜97がある。パッシベーション膜は窓層93とPN接合の端を覆っている。

【0084】InP基板90の底面には凸レンズ74が形成される。裏面全面ではなく、外郭部のみに接続されるリング状のn電極98が設けられる。リングn電極98によって囲まれる領域は反射防止膜99によって覆われている。p電極、n電極いずれも中心部が開口した電極である。上部から入った入射光のほぼ50%が下側の開口から出て行く。

【0085】そのようになる条件はふたつある。一つはn電極のリング形状ということ、もう一つはInGaAs層の薄層化(薄い受光層)ということである。前者については図面を見れば明らかに分かる。薄層化については図面だけでは分かりにくいしこれが本発明の重要な特徴でもあるので、以下に詳しく説明する。

【0086】固体に光が入射し内部を通過し反対側の面に出て行く場合を考える。透過光は、入射光から、固体表面の反射、裏面の反射、固体内部での吸収を差し引いた残りである。表面裏面の反射は反射防止膜を付けることによって問題にならない程度まで下げることができる。この例でも反射防止膜96、99によって表裏面反射は極めて小さくなっている。主要な損失は固体内部の吸収損失である。そのような場合、光の透過率Tは、固体の光吸収係数を α 、厚みをdとして、

$$【0087】 T = \exp(-\Sigma \alpha d) \quad (12)$$

【0088】によって表される。 Σ は光が通過する固体ごとに積 αd を計算し、これらの和を求めるということを意味する。大体 $\exp(-0.7) = 0.5$ であるから、 αd が0.7になる厚みd($=0.7/\alpha$)の層は光を半分吸収し半分透過する。窓層、基板、バッファ層はInPによってできている。InPはInGaAsよりもバンドギャップが広い。バンドギャップより小さいエネルギーの光は固体をそのまま透過できる。信号光は $1.0\mu\text{m} \sim 1.6\mu\text{m}$ であるから、InPでは殆ど吸収されない。InGaAs受光層(n型+p型)でのみ吸収される。したがって、InGaAs受光層のみを考えに入れるだけで足りる。ここでは簡単にInGaAsと書いているが実際にはInとGaの組成比は決まっている。InP基板と格子整合しなければならないからである。

【0089】光通信によく用いられる $1.3\mu\text{m}$ 光に対し、InGaAs受光層の吸収係数は $\alpha = 10^4 \text{ cm}^{-1} = 1\mu\text{m}^{-1}$ である。従来は全部の光を吸収し検出効率を上げることだけを目的にしていたから、 $4 \sim 6\mu\text{m}$ の厚すぎるInGaAs受光層が用いられていた。本発明は有限の(半分程度)の吸収にしたいので、厚みdを慎重に選ばなければならない。図15は上記の α の値に対し、厚みdと透過率Tの関係を示す計算結果である。横軸がInGaAs受光層厚みd(μm)、縦軸が透過率T(%)である。 $0.5\mu\text{m}$ で約60%、 $0.7\mu\text{m}$ で約50%、 $0.9\mu\text{m}$ で約40%となる。 $1\mu\text{m}$ では36%に下がる。

【0090】もしも50%透過、50%吸収としたいのであれば、InGaAs厚みを $d = 0.7\mu\text{m}$ とすれば良い。この値は驚異的に薄い。従来は全部の光を吸収することを念頭に設計されていたので左様に厚い($4 \sim 6\mu\text{m}$)のである。本発明は従来例のフォトダイオードの約、 $1/8$ 程度の極々薄い受光層を使う。このような薄い受光層を持つフォトダイオード自体優れて新規のものである。

【0091】図14のプレーナ型フォトダイオードの製造方法を述べる。出発基板は硫黄Sドーパ型InP基板である。厚みは $300\mu\text{m}$ 、キャリア濃度は $n = 5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ である。基板の上に $2.5\mu\text{m}$ 厚みの高純度InPバッファ層を成長させた。

【0092】バッファ層の上に高純度InGaAs受光層(吸収層)を厚みが $0.7\mu\text{m}$ になるように成長させた。InGaAsのキャリア濃度は $n = 1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ である。吸収層の上に $1.5\mu\text{m}$ の厚みのInP窓層を成長させた。キャリア濃度は $n = 2 \sim 3 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ である。これらのエピタキシャル成長は、塩化物を用いたクロライド気相成長法(C-VPE)を用いた。これに限らず有機金属を用いたMO-CVD法を用いても良い。

【0093】次に窓層の上に、SiNxをマスクとして、亜鉛Znの選択拡散をおこなう。チップの中央部に当たる部分にp型領域94ができる。これは窓層93とInGaAs受光層92の一部に及ぶ。p型領域の周縁部にリング状のp電極95を形成する。これはAuZn合金のp電極である。次にInP基板裏面にフォトリソグラフィとエッチングによって作り付レンズ74を作製する。さらにn型InP基板の裏面にリング状のn電極98を設ける。これはAuGeNi合金の電極である。

【0094】表面のp電極によって囲まれた部分と、裏面のn電極によって囲まれた部分は光が透過する部分である。反射を防ぐ必要がある。SiONの $\lambda/4$ ($\lambda = 1.3\mu\text{m}$)の反射防止膜をリング電極内部に形成する。このようにして作製したフォトダイオードの $1.3\mu\text{m}$ に対する透過率Tは設計通り約50%になった。

【0095】〔実施例⑥(図16:半透過型フォトダイオードの構造:メサ型)〕図14はプレーナ型のフォトダイオードであるが、本発明はもちろんメサ型のフォトダイオードにも適用できる。図16はメサ型フォトダイオードの実施例を示す。n型InP基板100の上に、n型InPバッファ層101、n型InGaAs受光層102、p+型InP窓層103がエピタキシャル成長している。p+型窓層103の上面にはリング上のp電極104が設けられる。中央部は光が通る入口となるから反射防止膜105が形成される。n型InP基板100の裏面には凸レンズ74が形成される。レンズを囲むように基板裏面周辺部にリングn電極109が設けられる。中央のレンズ部は反射防止膜110によって覆われる。

【0096】メサ型の場合、上部が狭くなっており、台地に似ているからメサという。この場合は亜鉛拡散をせず、InGaAs層の上に直接にp+型のInP窓層をエピタキシャル成長させる。エピタキシャル層の周囲をエッチングによって除いてメサ形状とする。露出した側傾斜面をSiNxのパッシベーション膜106によって覆う。p+InP窓層のキャリア濃度は $p = 1 \sim 5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ である。InGaAs受光層(吸収層)の厚みは $0.7\mu\text{m}$ である。これも $1.3\mu\text{m}$ に対して約50%の透過率になった。

【0097】〔実施例⑦(図19:パッケージにPD、LD、PDを收容した素子)〕円盤形状金属製のヘッダ

111は下面に突き出た4本のリードピン112、113、114、115を有する。ヘッダ111の上面中央よりやや偏奇してポール119がある。ポール119の上頂面にはサブマウント120に載せたレンズ付き半透過性PDチップ64が水平に固定される。ポール中間部の側面には、サブマウント122に取り付けられたLDチップ70が固定される。

【0098】LDの軸線の直下であってヘッダの上面中央に、モニタPD85がサブマウント123を介して取り付けられる。このPDは下向きに出てくるレーザ光の強度をモニタする。傾斜して(12度)いるのは反射光がレーザに戻り動作不安定を招くことがないようにするためである。これら3つの素子は1直線上に直列に並んでいる。3つの素子を密封するためにガラス窓126を有するキャップ124がヘッダ111の上面に固定される。

【0099】PD64を取り付けるためのサブマウント120の例を図19の(b)、(c)、(d)に示す。

(b)のサブマウントは切り欠き128を有し、表裏全面にメタライズ130してある。フォトダイオードチップの底面n電極がメタライズ130に半田づけされる。上面のp電極はワイヤによってピン114に接続される。(c)のサブマウントは一部にメタライズ129があり、これにn電極が半田付けされる。これはさらにピン115にワイヤによって接続される。(d)のサブマウントは切り欠き128がなく、その代わりに通し孔132を穿孔しここに光を通すようになっている。作り付レンズはこれらの切り欠きや通し穴にはまりこむような配置で実装する。

【0100】半導体レーザとしては、InGaAsPの1.3 μ mレーザチップを用いた。LDチップサイズは300 μ m \times 300 μ m \times 100 μ m(厚み)である。これをAlNサブマウントに固定する。フォトダイオードは前述のようなInGaAsのPDである。PDチップサイズは450 μ m \times 450 μ m \times 300 μ m(厚さ)である。受光部は円形で直径は約200 μ mである。

【0101】レーザチップ70をAlNのサブマウント122にAuSnによって半田付けした。半透過性(50%透過)フォトダイオードチップ64をAl₂O₃サブマウント120に、モニタフォトダイオード85をAl₂O₃サブマウント123にAuSnによって半田付けした。これらのサブマウントを、SnPb半田によって、モニタPD、LD、50%PDの順にヘッダに半田付けした。

【0102】サブマウント120は前述のように(b)～(d)のような物が利用できる。各チップのn電極、p電極はそれぞれ半田によって直接にグランドに接続されるか、或いはワイヤによってピンに接続される。もしも3つの素子ともにグランドを共有することにすれば、

4本のリードピンによって全て配線することができる。

【0103】次に、ガラス窓付きキャップ124をヘッダ111に固定する。ガラス窓は集光作用がないからキャップについては調芯する必要はない。ヘッダ111の中心とキャップ124の中心が大体合致する位置でキャップをヘッダに溶接固定する。キャップがレンズ付きのものでなくガラス窓付きのものでよいのは、受光素子に作り付レンズがあるからである。球レンズ付きでないキャップは安価である。また調芯しなくて良いので取り付けも簡単である。

【0104】こうしてできた3つの素子がパッケージに入った物を送受信デバイスと呼ぶ。これだけでもデバイスとして利用できる。しかしさらにこれを光ファイバとの結合をも含めたピグテイル型モジュールにしたり、レセプタクル型モジュールにしたりすることができる。

【0105】〔実施例⑧(図20:ピグテイルタイプのモジュールの例)〕図20は本発明の光送受信モジュールを、ピグテイルタイプにしたものの断面図である。前述のヘッダ111の上へさらにフェルールホルダー133を固定している。シングルモードファイバ62の先端をフェルール136に挿入固定し、先端137を8度に斜めカットしてある。このフェルール136をステンレス製の円筒形フェルールホルダー133の中心軸孔に差し込む。弾性あるベンドリミッタ134がホルダー133に取り付けてある。光ファイバの根元での過度の曲がりを防ぐ。

【0106】光ファイバから出た光が進行する光軸上にレンズ付きPD64とレーザ70が置かれている。レーザによって1.3 μ m光を発振させ、光ファイバの他端で光量をモニタしながら、ヘッダ111に対しホルダー133を水平方向に動かし最適位置を求める。A部をYAGレーザ溶接してホルダー133をヘッダ上のその位置に固定する。さらにフェルールホルダー133に対してフェルール136を軸方向に動かして最適位置を求める。B部をYAGレーザ溶接しフェルールをホルダーに対して固定する。このように二重の調芯を行ってから、ホルダー133、フェルール136を固定した。

【0107】このモジュールに1.31 μ m光を入射させてフォトダイオード64の感度を測定した。印加電圧が5Vの時に0.43A/Wという感度値を得た。通常の受信モジュールでは0.85A/Wという感度値が標準的に得られる。つまり通常のPDの約半分の感度値であったということである。設計通りの結果が得られたということである。

【0108】さらにLD70に30mAの駆動電流を流し、光ファイバとの結合パワー(光ファイバの他端に出てくるパワー)を測定した。その結果は0.29mWであった。この実施例では球レンズによってレーザ光を集光している。球レンズを使ったレーザモジュールでの結合パワーの標準的な値は0.6mWである。レーザ光に

関しても通常のモジュールに比べて半分のパワーを取り出すことができる。これも設計通りである。

【0109】以上は静的な性質である。パルス信号光に対する動作についても調べた。光通信で良く使われる 155Mbps の光信号を用いた。155Mbps のパルス信号を受信することと、155Mbps でレーザを駆動し光信号を伝送することを交互に繰り返した。PDモジュールとLDモジュールを光ファイバカップラによって結合し、LDとPDを交互に動作させる従来法の送受信系と比較して遜色はなかった。問題となることも無かった。

【0110】〔実施例⑨（図21：レセプタクルタイプのモジュールの例）〕光ファイバを着脱自在としたい場合は、レセプタクル型とする。図21に示す。ヘッダにモニタPD、LD、レンズ付きPD、ガラス窓付きキャップを取り付けたものに、さらに円筒形のLD固定フランジ140を固着する。LD固定フランジ140の先端に端面が斜めに研磨されたダミーファイバ142が取り付けられる。LD固定フランジの先端には、雌型コネクタ143の端面が溶接される。

【0111】ハウジングの中心には軸方向の孔が穿孔される。その孔にスリーブ148が差し込まれている。ハウジング外周にはオネジ部147が切ってある。雄型コネクタ150のハウジングにはフェルルール155が挿通してある。フェルルールにはシングルモード光ファイバの先端が固定してある。この先端は斜めに切っていない。やや丸みを付けているが軸周りに回転対称である。キイ156によって円周方向の相対位置を決める。

【0112】フェルルール155をスリーブ148に挿入し、メネジ部153をオネジ部147にねじこむことによって、両コネクタを結合することができる。ファイバの先端は前述のダミーファイバの後端面に接触する。光ファイバとレーザ、PDがダミーファイバを介して結合する。ダミーを使うのは反射光がレーザに戻らないようにするためである。光ファイバ154自体を斜めに切ると、光ファイバ軸線と光軸が食い違い光ファイバが所定の方向からずれると、光ファイバとレーザが結合しなくなるからである。

【0113】〔実施例(10)（図22：モニタPDを省略したモジュールの例）〕ピンポン伝送であるから、レーザが発光しているときは受信光は存在せず、受信フォトダイオードは遊んでいることになる。そこで受信フォトダイオードをレーザのモニタに使うことができる。受信時は本来の受信光の検出に、送信時はレーザのモニタに利用するのである。一つのPDに、受信とモニタの二役をさせることにより、モニタ用のフォトダイオードを省略することができる。図22にそのような実施例を示す。モジュールのコストを削減するのに有効である。

【0114】〔実施例(11)（図23：増幅器を内蔵するモジュールの例）〕受信用フォトダイオードの近くに増

幅器を設け光電流を増幅する。図21に示す。フォトダイオードで生じた光電流をピンを通して外部に取り出すのではなくて、近接位置に設けた増幅器160によって増幅してから外部に出す。増幅器160はSiのアンプチップを例えば利用できる。これをフォトダイオード64と同じサブマウント120に載せて置く。PDの電極と増幅器の電極をAu線によって接続する。光電流をすぐに増幅するからノイズの少ない出力信号を得ることができる。図23の(a)はモニタPDがある場合を示す。図23の(b)はモニタPDを省いた構造を示している。

【0115】〔増幅器と組み合わせた電気回路〕図24に電気回路図を表す。図24(a)はモニタPDのある場合の回路例を示す。受信PDのカソードは V_{ss} ピンにつながる。 V_{ss} には例えば5Vの逆バイアスを掛ける。アノードは増幅器160に入力する。増幅器は電源端子 V_{cc} とグランド端子によって駆動される。電源電圧 V_{cc} は3.3V、5.5Vなどである。増幅した出力はOUT端子に出てくる。レーザ70はアノードがケースに接地してある。

【0116】カソードは負電圧に引かれてLDに駆動電流が流れるようになっている。モニタPDもカソードはケースに接続され、他方のモニタOUTによって光電流が検出される。単純な回路である。図24(b)はモニタPDを省略した場合の回路例を示す。受信PDの光電流が増幅器160によって増幅される。それは同じであるが、さらにカソード側にモニタOUT端子がつながれる。さらに負荷抵抗 R_{ss} を介して逆バイアス電圧が V_{ss} から印加される。

【0117】このようにモニタ用の抵抗を使ってOUTの電圧降下からレーザ出力を求める方法の他に、増幅器の出力をモニタ出力と受信光出力に切り分け、受信光、レーザ光強度の信号のいずれをも増幅器から取る方法もある。

【0118】〔実施例(12)：箱型パッケージに実装したもの〕ピグテイル型、レセプタクル型のモジュールについて説明した。そのようなピンと軸線が平行な長手タイプの他に、本発明は横型パッケージに収納する事もできる。図25には箱型パッケージに送受信モジュールを収容したものを示す。図25(a)はファイバ62、PD64、LD70のみの平面図である。シングルモードファイバ62の軸線上にレンズ付き半透過型PD64と、レーザ70がある。このPDはInGaAsPが活性層であるから $\alpha = 0.7 \mu\text{m}^{-1}$ で、吸収と透過を50%ずつとするには厚みを $1 \mu\text{m}$ とする。PDの受光層65が光ファイバに近接した方に、レンズがレーザ側にある。これはもちろん反対にしても良い。図25(b)はパッケージに収容している状態を示す。

【0119】パッケージは箱型のセラミックである。下ハウジング171、上ハウジング172の組み合わせに

なる。箱型ハウジングは4つのピンを持つ。PDアノードピン173、PDカソードピン174、LDカソードピン175、LDアノードピン176などである。ハウジングにはメタライズ177、178、179などが印刷されている。PDのカソードやアノードはこれらのメタライズとメッキによってピンに接続される。

【0120】LD70もメタライズの上に固定される。LDのアノードはワイヤ180でピン176に接続される。素子の寸法は既に述べた例と同じである。ファイバ・受光素子間距離は $140\mu\text{m}$ 、受光素子の厚みは $100\mu\text{m}$ 、磁束密度のレンズの曲率半径は $100\mu\text{m}$ 、受光素子レンズ頂点とレーザの距離は $50\mu\text{m}$ 、レーザ長さは $300\mu\text{m}$ である。パッケージの全長は2ミリ以下である。全体が非常にコンパクトになり、部品点数も少なく低コストで量産性の高いモジュールとなる。

【0121】以上に述べた実施例1～12はあくまで本発明の限られた実施例に過ぎない。その他に尚いくつかのバリエーションが有り得る。その幾つかを述べる。

【0122】(1) 受光層がInGaAsP ($\lambda_g = 1.4\mu\text{m}$) の受光素子を使うときは、 $\alpha = 7000\text{cm}^{-1} = 0.7\mu\text{m}^{-1}$ であるから、受光層厚みを $1.0\mu\text{m}$ とした時、吸収：透過 = 1：1となる。これは $1.3\mu\text{m}$ を感受し、 $1.55\mu\text{m}$ を感じない受光素子になる。

【0123】(2) 光の波長は $1.3\mu\text{m}$ を例としたがこれに限らない。 $1.55\mu\text{m}$ 光でも良い。また $0.8\mu\text{m}$ 帯にも利用できる。その場合はGaAs系の半導体レーザと低価格のSiフォトダイオードを使うことができる。Siはバンドギャップが広いので基板部分は $0.8\mu\text{m}$ を透過する。受光層の部分で光が吸収されるが50%透過となるように厚みを薄くする。

【0124】(3) 光ファイバはマルチモードファイバであっても良い。マルチモードであると ϕ がより大きいので、Bをより狭くし、Aとバランスを取り易くなる。

【0125】(4) 光結合の相手は、光ファイバに限らない。光導波路であっても良い。光導波路によって複雑な処理をされて出てきた光を、本発明の光送受信モジュールに結合させることも可能である。

【0126】(5) フォトダイオードの透過率は50%として説明してきたがこれに限らない。そのシステムにおいて、レーザ光の強い方が良いのか、フォトダイオードの感度を優先するべきか？によって透過率を数%から90%までの幅で選択することができる。このように本発明は幅広い応用を含む実用性の高い発明である。

【0127】

【発明の効果】今までおそらく誰も考えつかなかったであろう半透過型のレンズ付きフォトダイオードを前に、レーザをその後ろに配置することにより、本発明は光送受信モジュールから高価でかさばる光カップラとレンズ

を省くことに成功した。フェルールも1本で足りる。さらにパッケージも一つ省き一つだけで良いことになる。光カップラ、フェルール、パッケージ、レンズはいずれも高価な部品であるだけにこれらを省くことによるコスト低減効果は顕著である。

【0128】これによって、光による双方向通信、特に光加入者系に不可欠の光送受信モジュールを低価格で量産することを可能にする。図23は本発明と従来例との構造の違いを如実に物語る。図26(A)は従来例のモジュールの構成である。光ファイバによるカップラ(光分波器)21と、独立のLDモジュール25、独立のPDモジュール27、3つの光コネクタ17、22、23が必要である。それに対し、本発明は図26(B)に示すが、光分波器は要らないし、光コネクタは一つ、フェルールも一つ、モジュールは一つ、パッケージも一つで済む。しかもレンズが要らない。レンズ調芯も不要となる。著しい改善である。

【図面の簡単な説明】

【図1】一つの波長 λ の光を送受信に利用する双方向光通信を説明する概略図。

【図2】光ファイバまたは光導波路を用いた2：1の光分波器であって、一方の1入力からP1の光を入れると、他方の1本に出力光P3として出力され、同じ光ファイバに送信光P4を入れると初めの光ファイバの一方にP2として伝搬されることを概略構成図。

【図3】ガラスブロックを使った光分波器の構成図。

【図4】従来例に係る、光加入者系通信において、加入者側の光送受信モジュールの構成例図。

【図5】従来例に係る半導体発光素子モジュールの縦断面図。

【図6】従来例に係る半導体受光素子モジュールの縦断面図。

【図7】従来例に係るフォトダイオードチップの中央縦断面図。

【図8】従来例に係るフォトダイオードチップの波長感度特性グラフ。

【図9】PDの受光層が光ファイバに向くように、光ファイバ、レンズ付き半透過型フォトダイオード(PD)、半導体レーザを一直線上に並べてなる本発明の第1実施例に係る光送受信モジュールの概略構成図。

【図10】PDの受光層がレーザを向くように、光ファイバ、レンズ付き半透過型フォトダイオード(PD)、半導体レーザを一直線上に並べてなる本発明の第2実施例に係る光送受信モジュールの概略構成図。

【図11】光ファイバ、レンズ付き半透過型フォトダイオード、半導体レーザを一直線上に並べてなる本発明の第1実施例の各部品の寸法の一例を示す光送受信モジュールの概略構成図。(a)は寸法例を示す平面図。

(b)は寸法パラメータの定義を示す線図である。

【図12】光ファイバ、レンズ付き半透過型フォトダイ

オード、半導体レーザ、モニタPDを一直線上に並べた本発明の第3実施例に係る光送受信モジュールの概略構成図。

【図13】光ファイバ、レンズ付き半透過型フォトダイオード、半導体レーザを一直線上に並べた例、光ファイバの端面を斜めに切り、フォトダイオードを傾けることにより反射光がレーザに戻らないようにした本発明の第4実施例に係る光送受信モジュールの概略構成図。

【図14】本発明において用いるレンズ付きプレーナ型半透過型フォトダイオードの中央縦断面図(A)と上面図(B)。上下にリング電極があり、InP基板の底面にレンズが形成されている。

【図15】本発明の実施例において用いる、 $1.0\mu\text{m}$ ～ $1.6\mu\text{m}$ の波長で使用できるInGaAsフォトダイオードにおいて、InGaAs($\lambda_g=1.6\mu\text{m}$)受光層の厚みd(μm)と、透過率T(%)の関係に関する計算結果を示すグラフ。

【図16】本発明において用いるレンズ付きメサ型半透過型フォトダイオードの中央縦断面図(A)と上面図(B)。上下にリング電極があり、InP基板の底面にレンズが形成されている。

【図17】受光素子の受光層へ光を収束させるためのレンズを受光素子基板に作り付けにした従来例のレンズ付き受光素子の光線の収束を示す概略光線図。

【図18】受光素子基板に作り付けレンズを作る方法を説明する工程図。(a)は半球状にレジストを塗布形成した段階を示す。(b)は基板をイオンエッチングしている途中を示す図。(c)はエッチングが終了しレンズ状の隆起が残った状態を示す図。

【図19】窓ガラス、50%透過レンズ付きPD、レーザ(LD)、モニタPDを直線状に並べた一つのパッケージに収容した本発明のモジュールの縦断面図(a)、サブマウントの平面図(b)、別のサブマウントの平面図(c)、他のサブマウントの平面図(d)。

【図20】ガラス窓、レンズ付き50%透過フォトダイオード、レーザ、モニタPDを一つのパッケージに一直線状に収容しその先にフェルールホルダーを取り付け、パッケージと光ファイバとを一体化した本発明のピグテイル型光送受信モジュールの縦断面図。

【図21】ガラス窓、レンズ付き50%透過PD、レーザ、モニタPDを一つのパッケージに直線状に収容しその先に着脱可能なコネクタを設けて光ファイバを自在に着脱できるようにした本発明のレセプタクル型光送受信モジュールの縦断面図。

【図22】ガラス窓、レンズ付き50%透過フォトダイオード、レーザを一つのパッケージに収容したモジュールの縦断面図(a)、サブマウントの平面図(b)、別のサブマウントの平面図(c)、他のサブマウントの平面図(d)。図19のものからモニタフォトダイオードを除去したもの。

【図23】フォトダイオードの光電流を増幅する増幅器を内蔵する光送受信モジュールの縦断面図。(a)はモニタPDを備えた例であり、(b)はモニタPDのない例である。

【図24】図21のモジュールの電気回路例図。(a)モニタ受光素子を持つ例、(b)がモニタ受光素子を持たない例。

【図25】箱型パッケージに本発明の光送受信モジュールを収容した実施例を示す。(a)は光ファイバ、受光素子、レーザだけの平面図。(b)は光ファイバ、受光素子、レーザを箱型パッケージに収容した状態の縦断面図。

【図26】従来例と本発明のモジュールの構成の簡便の比較図。(A)が従来例の構成図、分岐がありLDとPDが分離している。レンズは2個必要である。(B)が本発明の構成図。LDとPDが同一一直線上にある。独立のレンズは不要である。

【符号の説明】

- 1 光ファイバ
- 2 光分波器
- 3 光ファイバ
- 4 光分波器
- 5 光ファイバ
- 8 光ファイバ
- 9 光ファイバ
- 10 近接部
- 13 ガラスブロック
- 14 ガラスブロック
- 15 多層膜ミラー
- 16 光ファイバ
- 17 光コネクタ
- 18 光ファイバ
- 21 光ファイバ光分波器
- 22 光コネクタ
- 23 光コネクタ
- 25 半導体レーザモジュール
- 27 受光素子モジュール
- 28 半導体レーザモジュール
- 29 半導体レーザチップ
- 30 フォトダイオードチップ
- 31 ボール
- 32 ヘッド
- 33 リードピン
- 34 キャップ
- 35 通し穴
- 36 レンズホルダー
- 37 レンズ
- 38 ハウジング
- 39 フェルール
- 40 光ファイバ

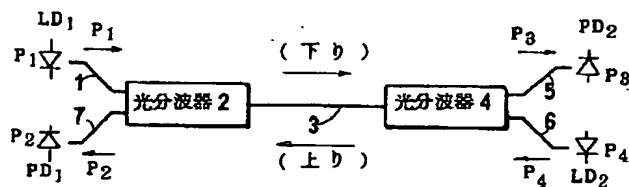
- 4 1 受光素子チップ
- 4 2 ヘッド
- 4 3 リードピン
- 4 4 キャップ
- 4 5 開口 (窓)
- 4 6 レンズホルダー
- 4 7 レンズ
- 4 8 ハウジング
- 4 9 フェルール
- 5 0 光ファイバ
- 5 1 光ファイバの端面
- 5 2 n-I n P 基板
- 5 3 n-I n P バッファ層
- 5 4 n-I n G a A s 受光層
- 5 5 n-I n P 窓層
- 5 6 亜鉛拡散領域 (p 型領域)
- 5 7 p 電極
- 5 8 反射防止膜
- 5 9 パッシベーション膜
- 6 0 入射光
- 6 1 n 電極
- 6 2 光ファイバ
- 6 3 光ファイバからの受信光
- 6 4 レンズ付き半透過型フォトダイオード
- 6 5 受光層
- 6 6 フォトダイオードの前面
- 6 7 フォトダイオードの裏面
- 6 8 透過受信光
- 6 9 光ファイバの端面
- 7 0 半導体レーザ
- 7 1 半導体レーザ発光層
- 7 2 レーザ光
- 7 3 透過レーザ光
- 7 4 作り付けレンズ
- 7 5 集光レンズ
- 7 6 レーザの後端面
- 7 7 レーザからの後方光
- 7 8 斜め反射光
- 7 9 斜め反射光

- * 8 0 I n P 基板
- 8 1 レジストで覆われない裏面
- 8 2 レジスト
- 8 3 イオンビーム
- 8 4 受光層
- 8 5 モニタ P D
- 8 6 レジストで覆われた裏面
- 8 7 エッチングによって形成された曲面
- 9 0 n 型 I n P 基板
- 10 9 1 n 型 I n P バッファ層
- 9 2 n 型 I n G a A s 受光層
- 9 3 n 型 I n P 窓層
- 9 4 p 型領域
- 9 5 p 電極
- 9 6 反射防止膜
- 9 7 パッシベーション膜
- 9 8 n 電極
- 9 9 反射防止膜
- 1 0 0 n 型 I n P 基板
- 20 1 0 1 n 型 I n P バッファ層
- 1 0 2 n 型 I n G a A s 受光層
- 1 0 3 p⁺ 型 I n P 窓層
- 1 0 4 p 電極
- 1 0 5 反射防止膜
- 1 0 6 パッシベーション膜
- 1 0 9 n 電極
- 1 1 0 反射防止膜
- 1 1 1 ヘッド
- 1 1 2 ピン
- 30 1 1 9 ポール
- 1 2 0 P D 用サブマウント
- 1 2 2 レーザ用サブマウント
- 1 2 3 モニタフォトダイオードサブマウント
- 1 2 4 キャップ
- 1 2 6 ガラス窓
- 1 3 3 フェルールホルダー
- 1 3 4 ベンドリミッタ
- 1 3 6 フェルール

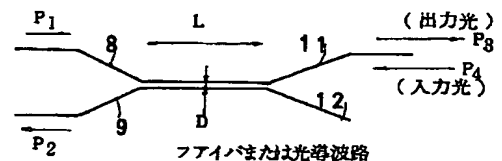
*

40

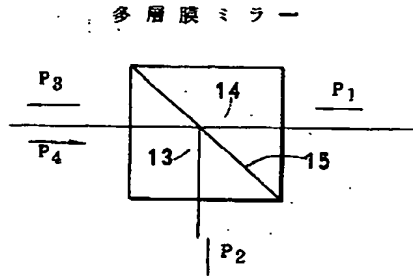
【図 1】



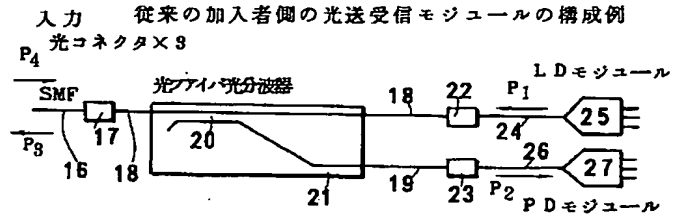
【図 2】



【図3】



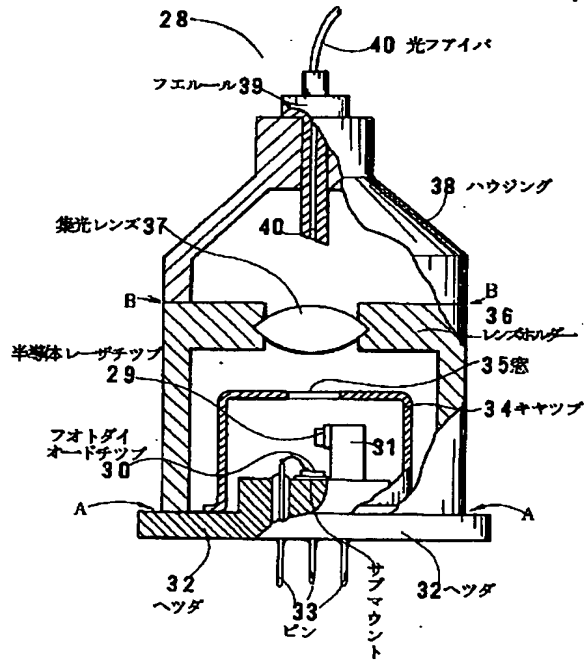
【図4】



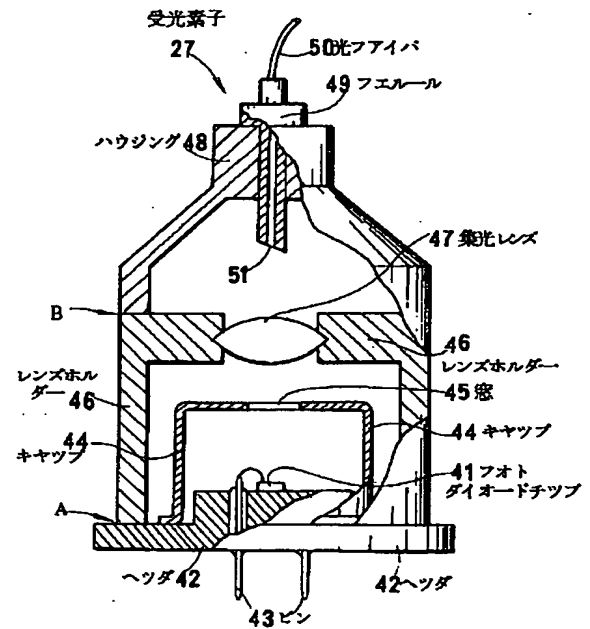
【図6】

【図5】

従来の半導体発光素子



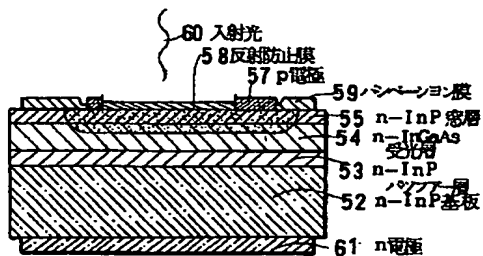
従来の半導体受光素子



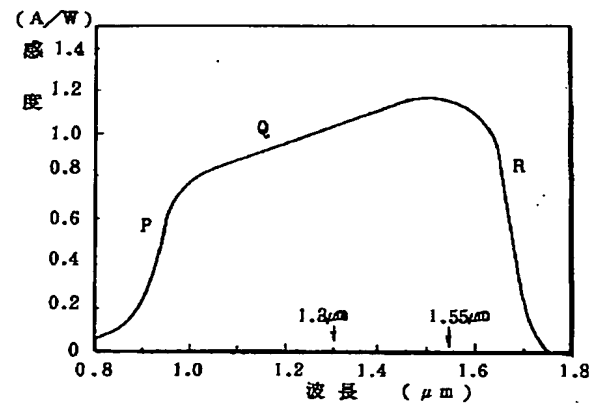
【図8】

【図7】

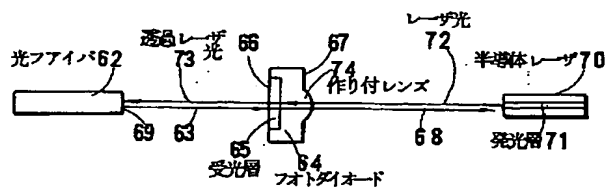
従来のフォトダイオードチップ



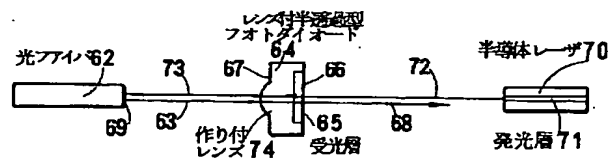
従来のフォトダイオードチップの感度特性



【図 9】

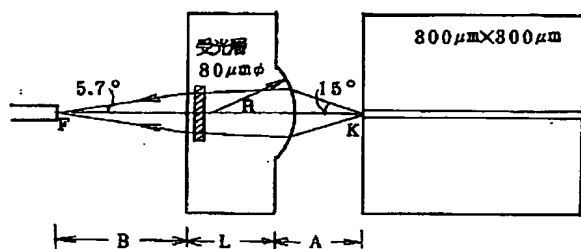


【図 10】

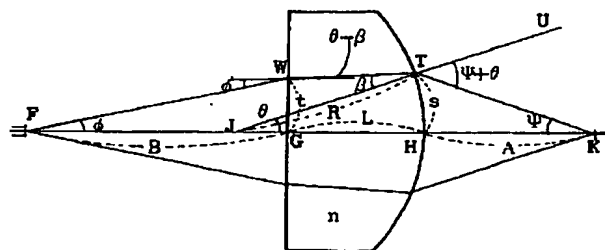


【図 1 1】

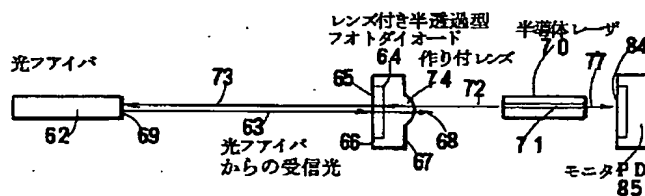
(a ')



(b)

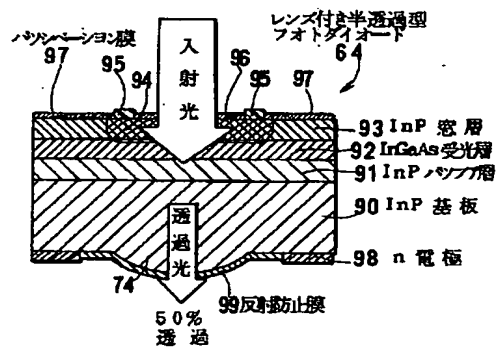


【図 1 2】



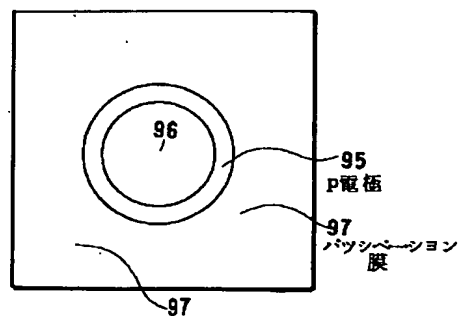
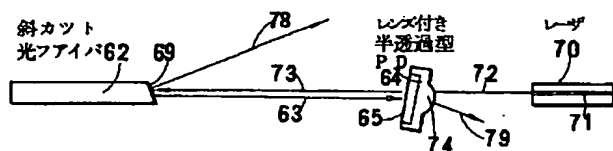
【図 14】

本発明に用いるフォトダイオードの構造例
(A)断 面



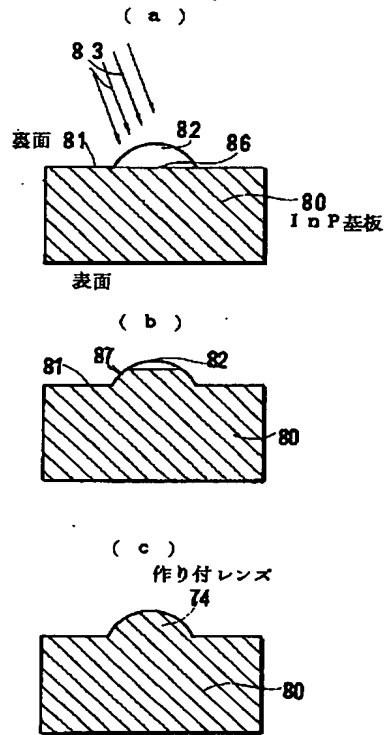
(B) 上 面

【图 1 3】

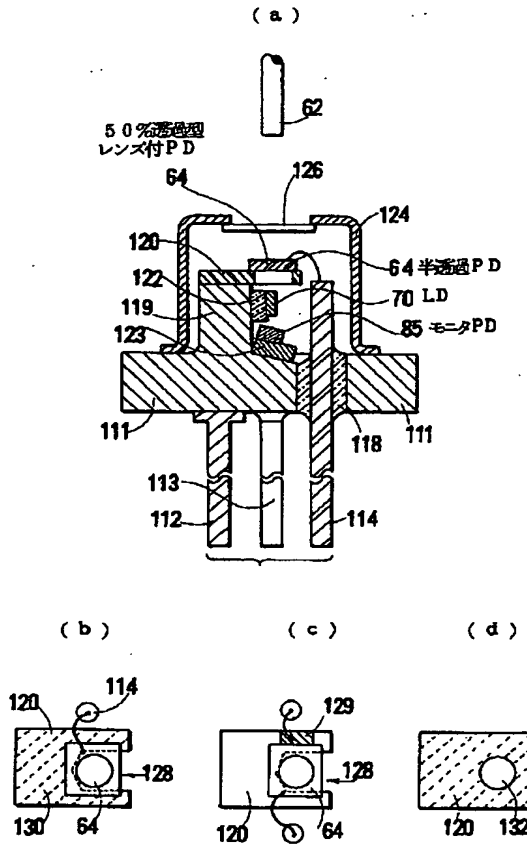


【図18】

本発明の作り付レンズの作り方

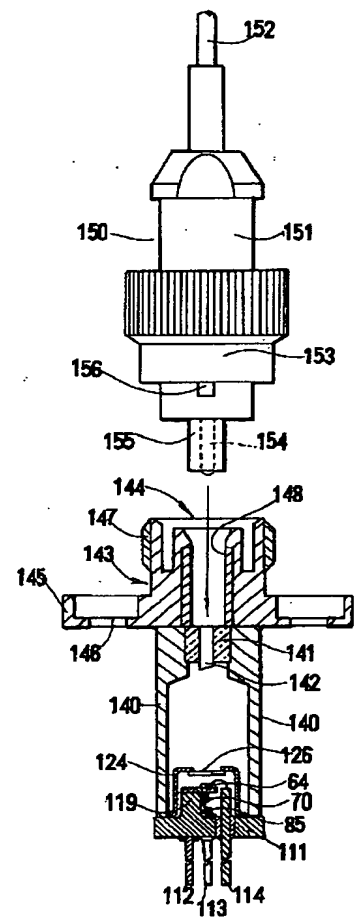


【図19】



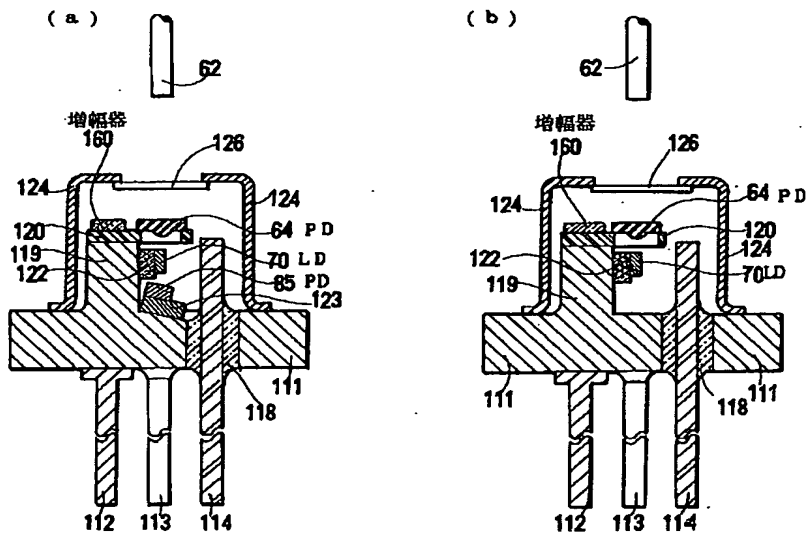
【図21】

レセプタクル型

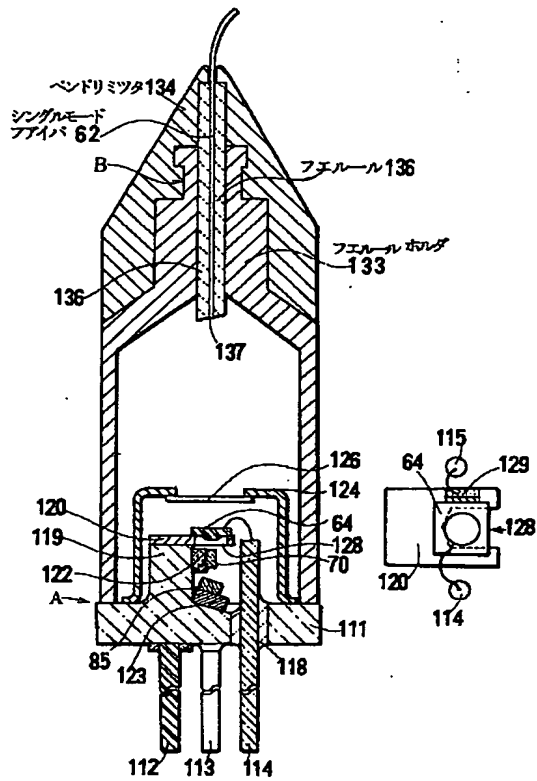


【図23】

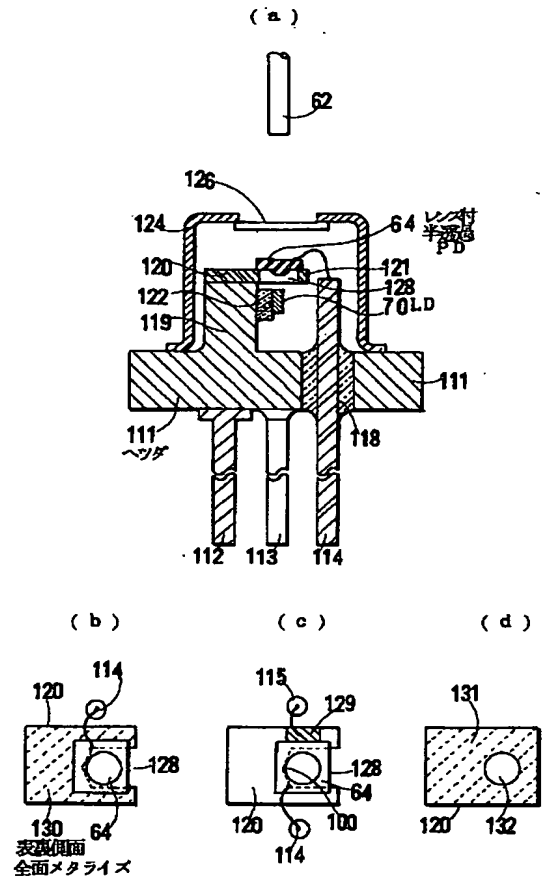
増幅器を内蔵した構成



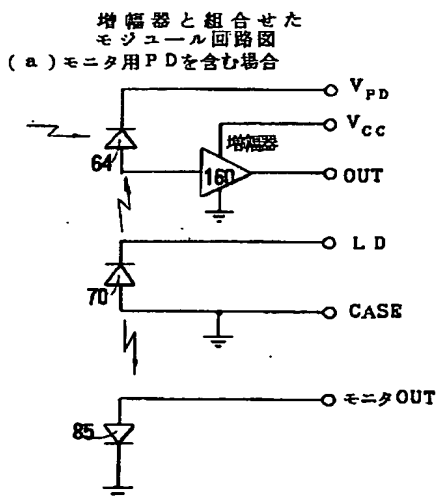
【図 20】



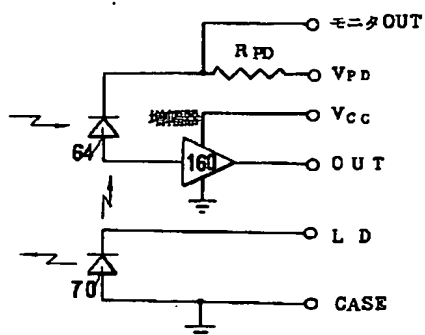
【図 22】



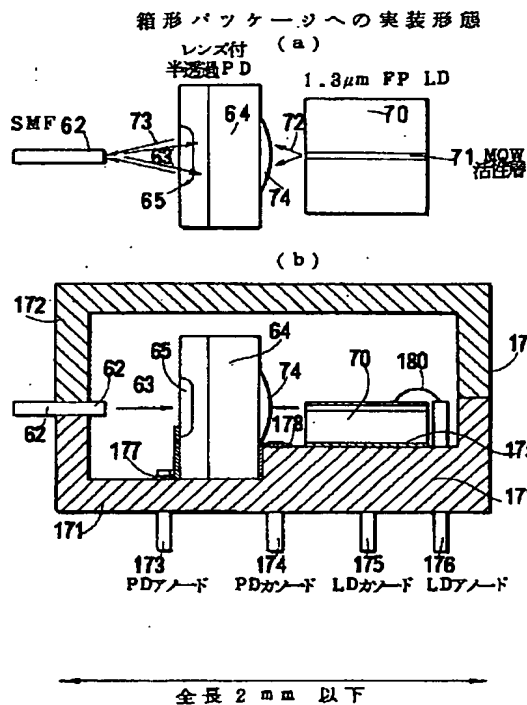
【図 24】



(b) モニタ用 P D を含まない場合

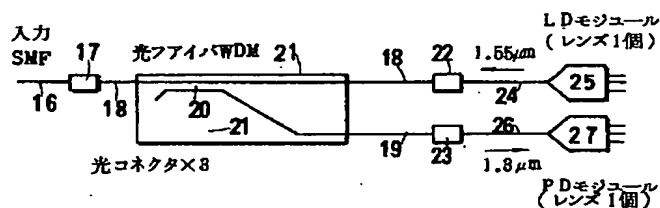


【図 25】



【図 26】

(A) 従来の加入者側の光送受信モジュールの構成図



(B) 本発明による光送受信モジュール

